



ESTUDO DE CRITÉRIOS PARA PREPARAÇÃO DE ORIFÍCIO CRÍTICO PARA CALIBRAÇÃO DE GASÔMETRO DO TIPO SECO

Área temática: Gestão Ambiental e Sustentabilidade

Valter Gonçalves

v.goncal@gmail.com

Leonardo Batista

leofredbatista@gmail.com

Jonatan Augusto

Jonatan2040@hotmail.com

Jocilene Costa

jocilene_fc@yahoo.com.br

Resumo: Os empreendimentos com a necessidade de mitigação de impactos ambientais, utilizam, não raramente, medidores dependentes de calibração. Entre estes, é conhecido o medidor de gás, gasômetro, inserido em caixa de controle denominada Coletor Isocinético de Poluentes Atmosféricos (CIPA), em conformidade a regulamentação do Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO). O problema abordado nesta pesquisa, após consultadas normas que especificam dimensões para placas de orifício e sua relação com a formação da vazão volumétrica, foi de como obter diâmetro ideal de orifício crítico para um coletor isocinético de poluentes atmosféricos de forma a aumentar a vida útil do gasômetro seco a partir de seu laudo de calibração. Os critérios de fabricação e uso de placa de orifício que compõe o CIPA permitiram a discussão de resultados sobre procedimentos que antecedem a calibração do gasômetro do tipo seco, bem como a compreensão das médias de vazão medida por faixa de ΔH (em mmH₂O) para cada placa de orifício testada, Contudo a sobrevida do gasômetro deve ser melhor estudada com abrangência de amostras e cruzamento delas com outros gasômetros para verificação do seu comportamento em campo e efetiva utilização.

Palavras-chaves: Calibração, CIPA, Gasômetro, Orifício crítico, Pressão diferencial.



1. Introdução

O cenário econômico atual do mundo globalizado tem como premissa a busca do desenvolvimento sustentável, por exemplo, promovendo a mitigação de impactos de emissão atmosférica de processos fabris que tem requerido metodologias confiáveis, mais seguras e acreditadas para avaliação de atividades. No planejamento e manutenção das atividades de produção, coletores de amostras de efluentes de chaminés nas organizações são instrumentos citados em procedimentos sujeitos a revisão, inspeção e calibração, dentre outros.

Todavia, além do sistema de produção requerer planejamento e controle, se torna imprescindível o conhecimento e manutenção das condições operacionais de seus equipamentos, principalmente da aqueles considerados críticos. Entre os equipamentos críticos estão aqueles de controle ambiental. Estes, quando utilizados para a coleta de gases e partícula do sem saída de chaminé vem se destacando, tendo como indicador o volume da amostra obtido durante sua operação. Na amostragem de efluentes atmosféricos, o medidor de gás do tipo seco, gasômetro, é dependente de fator de correção, conhecido no processo de calibração como fator de cálculos para tornar o volume equivalente à medição padronizada, por exemplo, se conferida por um gasômetro a úmido, responsável pelo ‘*wet test*’.

O gasômetro, parte integrante do Coletor Isocinético de Poluentes Atmosféricos (CIPA), tem sido frequentemente calibrado através do medidor de gás úmido, ‘*wet test*’ e como alternativa para sua manutenção, em caso de ter a sua calibração reprovada, comumente requer o reparo ou simplesmente a sua troca por outro. A aprovação ou reprovação da calibração de um medidor é objeto da área de Metrologia cujas funções de natureza científica e industrial são suportadas por normas que promovem o desenvolvimento da confiabilidade e acurácia de procedimentos e de medidores (INMETRO, 2015), um exemplo disso é a norma ABNT NBR 12020:1996 que define os procedimentos de calibração dos equipamentos usados em amostragem de poluentes de chaminé. Este estabelece em correlações entre as pressões diferenciais no trecho onde se insere o orifício e os registros indicados pelo gasômetro que contempla cilindros ciclométricos, de tal forma que os volumes e tempos decorridos no teste são analisados sob o ponto de vista da confiança, precisão e estabilidade, por exemplo, com verificação de médias, desvios e incertezas das amostras.



Neste contexto, esta pesquisa evidencia as dependências do gasômetro em relação à placa de orifício, objetivando responder a questão relacionada aos procedimentos para obtenção de um diâmetro ideal de orifício crítico para um coletor isocinético de poluentes atmosféricos de forma a aumentar a vida útil do gasômetro seco a partir de seu laudo de calibração pré-existente. Este fato está relacionado às limitações do sistema formado pelas tubulações, placa de orifício crítico e tomadas de pressão e temperatura, considerando as características de tubulações, por exemplo, tipo de furo, quantidade, tamanho e formato da placa de orifício (*AGA Report N3, Part 1, 1990*). Além destas, são importantes também as faixas de trabalho sob condições da linha de vácuo geradora do fluxo, fatores de trabalho da bomba juntamente com o CIPA, fatores de correção do gasômetro e coeficientes de vazão são determinantes para a calibração de orifícios críticos e gasômetro, conforme especificações em manual de operação do fabricante (DIAS, 2006). Portanto esta pesquisa visou encontrar o orifício crítico compatível e economicamente viável para o prolongamento da vida útil de um gasômetro seco. A abordagem aqui limitou-se ao reconhecimento das condições físicas e das avaliações relativas às faixas de operação do gasômetro.

2. Objetivo Geral

Estabelecer critérios de preparação de orifício crítico para calibração de gasômetro do tipo seco, baseando-se em norma técnica, regulamentada pelo INMETRO, de modo a aumentar sua vida útil.

3. Metodologia

3.1 Considerações gerais

Embora haja estudos já explorados sobre a dinâmica de fluidos via transporte em tubulação menor que 50 mm, onde se utiliza placa de orifício para a formação de pressão diferencial, não foram identificadas instruções para esta pesquisa, de forma objetiva, pela norma NBR/ISO 5167-1: 1994, devido à não citação de especificidades que suportam as relações de diâmetros e geometria de placas com diâmetro interno de orifício da ordem de 6,0 mm. Entretanto, nos últimos anos a AGA em seus catálogos de *Report* tem feito referências com estudos onde se aplicam faixas de tolerância para diâmetros de tubulação menores que 6,35 mm, sem citar as incertezas. Esta norma não proibi a utilização de suas referências para faixa

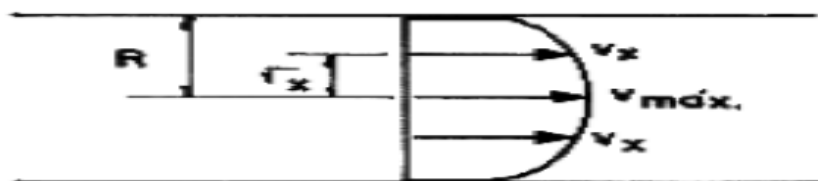


de diâmetro interno do orifício menores que 6,35 mm, porém recomenda precaução ao analisar as incertezas, ainda não bem exploradas. Na presente pesquisa tomou-se cuidados relativos às incertezas, sendo assim, foram verificados as dimensões de diâmetros, vazões resultantes das calibrações da placa de orifício ($\Delta H@$) e fluxo em litros por minutos medidos pelo gasômetro.

Na calibração do gasômetro montado com placa de orifício e controlado pelo ‘*wet test*’ se aplica o princípio de conservação de massa do fluido na linha de corrente (YOUNG et al, 2004). O princípio da formação da pressão numa corrente de ar está em considerar a maior ou menor resistência oferecida no trecho onde ocorre o escoamento de ar, sendo este fluxo de regime dinâmico, os mesmos autores citam, entre os dispositivos, para medir a vazão em volumes em tubos ou canais abertos, o medidor de orifício. Esta vazão resultante da pressão máxima ocorre no eixo central do fluxo, caso em que o duto tem a seção circular (SENAI – ES, 1999).

Nesta pesquisa admitiu-se para todas as amostras fluxo estável e laminar, haja visto que as posições do flange com a placa de orifício na tubulação montada para o uso do gasômetro, em relação à tolerância de diâmetros a montante e a jusante, estavam conformes com as especificações da AGA, *Report N3 Part 2* (2013). É importante compreender como a estabilidade do fluxo se relaciona com a velocidade, parâmetro que combinado com a área da seção transversal do duto define a vazão (Figura 1).

Figura 1 - Recorte do esboço do perfil de velocidade com a indicação do N^o. de Reynolds



Fonte: SENAI – ES (1999)

3.2 Planejamento da pesquisa e o uso de normas aplicáveis

Com o propósito de conduzir a pesquisa com testes de bancada e utilizando-se de métodos de calibração baseados em normas técnicas, foram reconhecidos parâmetros de conformidade do equipamento escolhido como o trem de amostragem, composto de bomba de vácuo e CIPA, evidentemente contendo em seu interior os acessórios não menos importantes para os levantamentos de cálculos e controle operacional das calibrações, tomadas de temperatura e pressões, orifício crítico e indicadores de leitura. Com base nas recomendações normativas



sobre as dimensões e faixas de tolerância para placas de orifício e características do medidor volumétrico, todos os componentes e condições de trabalho foram conferidos. O Apêndice A apresenta os itens básicos verificados sobre o aparelhamento pré-existente, CIPA, bomba, gasômetro e trecho de tubulação com placa de orifício.

A sequência proposta para o desenvolvimento dos experimentos e verificação dos resultados, em linha com os objetivos da pesquisa, abrangeu as etapas:

- a) Confirmação da ordem de grandeza dos diâmetros exequíveis para a fabricação de 03 (três) orifícios críticos, seguida dos preparativos de fabricação com desvio de 2% do valor do diâmetro da placa pré-existente (etapa 1);
- b) Aquisição de (03) três placas de orifício, quantidade compatível com o aporte financeiro planejado para a pesquisa, seguida da avaliação das dimensões e faixas de tolerâncias (etapa 2);
- c) Determinação das vazões teóricas para cada placa, original e três novas (etapa 3);
- d) Calibração do gasômetro seco e da placa pré-existente (original) em 6 faixas de pressão diferencial (ΔH) variando de 10 a 100 mmH₂O, seguindo a norma NBR 12020:1996, utilizando-se o gasômetro úmido ('*wet test*') (etapa 4);
- e) Calibração de outras três (03) placas, Placas 1, 2 e 3, fazendo-se a troca a cada tempo de acordo com a evolução de uso do '*wet test*' nas faixas iniciais de pressão diferencial nas placas, (ΔH) variando de 10 a 40 mmH₂O (etapa 5);
- f) Tabulação dos dados e registros afim de analisar os resultados finais e descrever estudo de procedimento que possibilite a sobrevida do gasômetro (etapa 6).

3.3 Formulário e notações de cálculos usados

Na etapa 1 a determinação do diâmetro ideal para o orifício, considerando o material da placa, aço inox ASTM 304 (ou 316) e faixa de exposição do orifício à temperatura no interior da tubulação, seguindo instruções da *AGA Report N3., Part 2* (2013) e faixa de temperatura projetada segundo a mesma instrução utilizou-se a Equação 01. Na etapa 2 foi utilizada usinagem em torno manual com a perfuração da peça matriz através de brocas de aço rápido tipo HSS de 4,90 mm, HT HSS de 4,80 mm e IZAR 4,80 mm. Na etapa 3 utilizou-se as Equações 02 a 06. Por fim Equações 07 a 13 foram utilizadas nas etapas 4 e 5, sugeridas pela



norma ABNT NBR 12020:1996 e leitura de indicadores dos testes que consistiram em calibrar placas de orifício com o mesmo gasômetro (DIAS, 2013).

- 1) $d = dr [1 + \alpha_1 * (Tf - Tr)]$
- 2) $Q = 1,1107 * C * Ev * \beta^2 * D^2 * \varepsilon * \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$
- 3) $Ev = \frac{1}{\sqrt{(1-\beta^4)}}$
- 4) $\varepsilon = 1 - [(0,351 + 0,256 * \beta^4 + 0,93 * \beta^8)] * [1 - (\frac{P2}{P1})^{\frac{1}{k}}]$
- 5) $K = C * Ev$
- 6) $\beta = \frac{d}{D}$
- 7) $\Delta H@ = \left(\frac{0,0017 * \Delta H}{Patm * Ts} \right) * \left(\frac{Tu * \beta}{Vu} \right)^2$
- 8) $Yi = \frac{Vu * Patm * Ts}{Vs * \left(Patm + \left(\frac{\Delta H}{13,6} \right) * Tu \right)}$
- 9) $Y = \frac{(Y1+Y2+Y3+Y4+Y5+Y6)}{6}$
- 10) $ER = \frac{(vs-vu)}{vu} * 100$
- 11) $Sp = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Yi-Y)^2}{n-1}}$
- 12) $\mu = \frac{Sp}{\sqrt{n}}$
- 13) $U = \kappa * n$

Na Tabela 1 encontra-se a relação dos parâmetros, a simbologia e unidades referentes as equações 01 a 13.

Tabela 1 – Relação dos parâmetros com simbologia e unidades para as equações 01 a 13

Parâmetro	Unidade	Simbologia
Diâmetro do orifício crítico	m (para cálculo da vazão) mm (para cálculo diâmetro ideal)	d
Coefficiente linear de expansão térmica para o material do orifício (valor = 0,00000925)	In/In °F	α_1
Referência para o diâmetro interno na entrada do fluxo na placa à temperatura de referência da placa.	In a 68 °F	dr



Temperatura do fluido na condição do fluxo	°F	Tf
Temperatura de referência do diâmetro da placa de orifício	°F	Tr
Vazão teórica	L/min	Q
Coefficiente de descarga	-	C
Fator de Velocidade de aproximação	-	Ev
Razão entre diâmetro interno do orifício e diâmetro interno da tubulação de instalação do orifício	-	β
Diâmetro da tubulação de instalação do orifício	m	D
Fator de expansão isentrópica	-	ϵ
Coefficiente de vazão	-	K
Massa específica do ar	kg/m ³	ρ
Erro de medição	%	ER

Continuação da Tabela 1

Parâmetro	Unidade	Simbologia
Volume de gás registrado no gasômetro seco (corrigido a 20 °C e 760 mmHg)	m ³	Vs
Volume de gás registrado no gasômetro úmido (corrigido a 20 °C e 760 mmHg)	m ³	Vu
Perda de carga correspondente a vazão em m ³ /min ou L/min (medido a 20 °C e 760 mmHg)	mmH ₂ O	$\Delta H@$
Pressão barométrica	mmHg	P _{atm}
Pressão diferencial na placa de orifício	mmH ₂ O	ΔH
Pressão atmosférica corrigida (padrão = 760 mmHg)	Bar	P _{atm}
Temperatura média do gasômetro seco (medida na entrada e saída)	K	Ts
Temperatura média do gasômetro úmido (medida na entrada e saída)	K	Tu
Tempo gasto para que o fluxo de ar passe pelo gasômetro úmido	min	θ
Fator de correção individual (do gasômetro)	adimensional	Yi
Fator de correção (do gasômetro) (média dos	adimensional	Y



fatores de correção individuais)

Incerteza padrão	%	u
Desvio padrão experimental	%	Sp
Número de leituras ou observações		n
Incerteza expandida	%	U
Fator de abrangência conforme nível de confiança (ex. mais usual k = 2,649 confiança de 95,45%)		k

4. Apresentação e discussão dos resultados

4.1 Parâmetros dimensionais das placas de orifício e indicadores obtidos na calibração

Confirmadas as dimensões, após a tomada de quatro leituras de diâmetro e analisadas as variações sobre as previsões, desvios e erros de medição, a Tabela 2 esboça os resultados do experimento, etapa 1:

Tabela 2 - Avaliação da média dos diâmetros internos do orifício crítico por placa fabricada

Placas (0 = original)	Valor médio diâmetro interno orifício (mm)		Desvio da previsão (%)	Incerteza expandida de "d"	Diâmetro transversal ao fluxo (D)		Razão entre "d" e "D"	Dif. sobre Placa 0 (%)
	previsto	fabricado (média de 4 leituras)			previsto	real		
0	4,8225	4,8225	-	0,0127	12	12	0,4019	-
1	4,72605	5,0075	6,0	0,0066	12	12	0,4173	3,4
2	4,8225	5,0025	3,7	0,0066	12	12	0,4169	3,7
3	4,9190	4,9850	1,3	0,0276	12	12	0,4154	3,8

Aceitos os valores médios de diâmetros, também das Placas 0 e 3, apesar que na avaliação de "d" < 6,35 mm este tem como tolerância +/- 0,0076 mm de acordo com a *AGA Report N3. Part 1* (3a. ed., 1990, 2a. Impr., 2003). Assim, para a Placa 0 foi evidenciada uma leitura com



desvio crítico, para a Placa 3, duas leituras. Seguindo com as análises, na Tabela 3 outros indicadores dimensionais foram relacionados à pressão diferencial em cada placa e à vazão gerada.

Tabela 3 – Resultados das vazões projetadas antes da calibração das placas de orifício

Placas (original = 0)	Faixa de pressão dif. na placa de orifício	Valor médio de "d" na placa e de "D" da tubulação para placa	Valor de d/ D	Fator da velocidade de aprox.	Pressão montante e a		Pressão Dif. Na placa	
					Pressão montante de orifício	Pressão a da placa		
	ΔH (mmH ₂ O)	D (m)	d (m)	β	Ev	P1 (Bar)	P2 (Bar)	ΔP (Pa)
0	10 a 40	0,012	0,00482	0,4019	1,01330	420	200	220
0	10 a 100	0,012	0,00482	0,4019	1,01330	680	320	360
1	10 a 40	0,012	0,00501	0,4173	1,01551	12	12	210
2	10 a 40	0,012	0,00500	0,4169	1,01545	12	12	240
3	10 a 40	0,012	0,00499	0,4154	1,01523	12	12	220

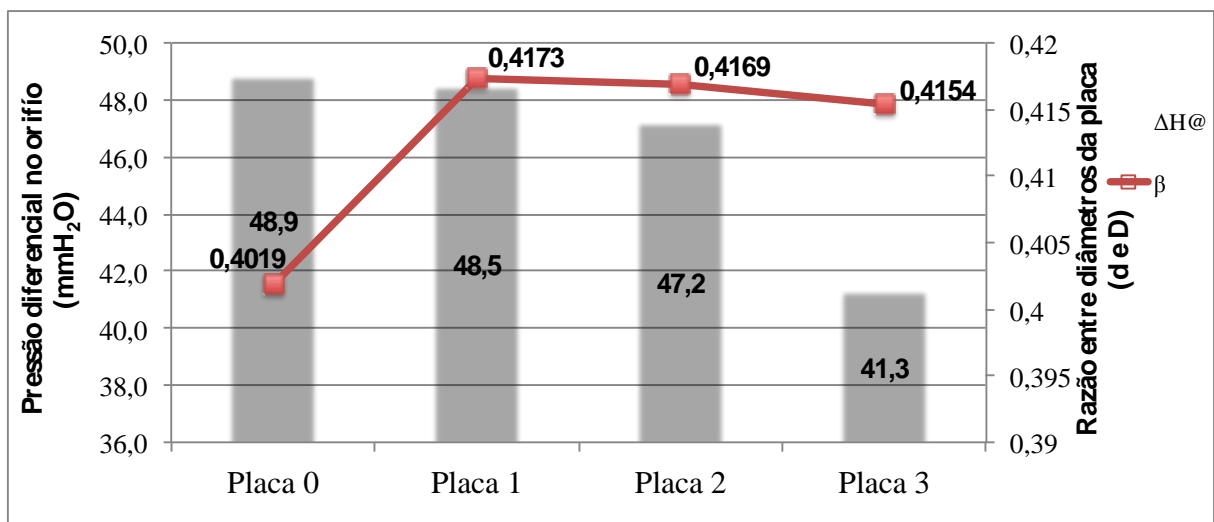
Continuação da Tabela 3

Placas (original = 0)	Faixa de pressão dif. na placa de orifício	Fator de expansão isentrópica	Coef. pressão e a		Coef. descarga	Coef. vazão	Vazão teórica	
			Coef. montante jusante da placa de orifício	Coef. a da placa de orifício			Coef. de descarga	Coef. de vazão
	ΔH (mmH ₂ O)	ϵ	P2/P1 (teórico)	P2/P1 (medido)	C	K	Q _t (L/min)	Q _m (L/min)
0	10 a 40	0,8379	0,53	0,48	1,0401	1,05394	18,52	15,63
0	10 a 100	0,8379	0,53	0,47	1,0401	1,05394	23,70	21,57
1	10 a 40	0,8375	0,53	0,53	1,0401	1,05624	19,55	15,63
2	10 a 40	0,8375	0,53	0,52	1,0401	1,05617	20,85	15,87
3	10 a 40	0,8376	0,53	0,53	1,0401	1,05594	19,82	16,93



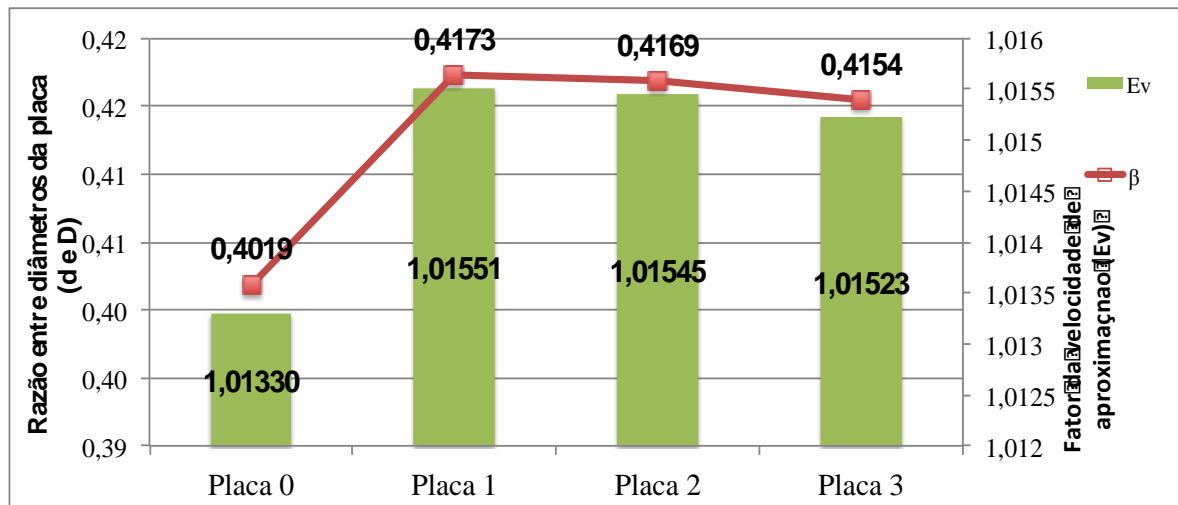
Os achados de cálculos indicam, conforme a *AGA ReportN3, Part1* (1990), que houve consistência da relação de “ β ” com demais características que são intrínsecas do fluxo, no caso, a depressão provocada pelo orifício dada por $\Delta H@$, bem como fator de aproximação de velocidade e conseqüentemente a qualidade de vazão gerada. Nas Figuras 1 e 2 encontra-se demonstrado a relação entre características de coeficientes do fluxo de ar e diâmetros da placa.

Figura 1 – Relação entre pressão do fluxo de ar e razão entre diâmetros das placas



Observa-se na Figura 1 o valor de $\Delta H@$ que é a queda de pressão no trecho da medição tem correspondência com a vazão em L/min uma vez que as características da placa, a proporcionalidade de “d” com “D” indicado como “ β ” são singulares do orifício, representando tendência linear. Na Figura 2 observa-se também que, para um maior valor de “d” ocorreu aumento do fator de velocidade de aproximação, ou seja, numa dada posição a montante do orifício da Placa 1, a pressão foi maior. Os coeficientes, de velocidade de aproximação (E_v) associado ao de vazão (K), ambos apresentados na Tabela 3, também são características singulares do orifício.

Figura 2 – Relação entre coeficiente do fluxo de ar e diâmetros das placas



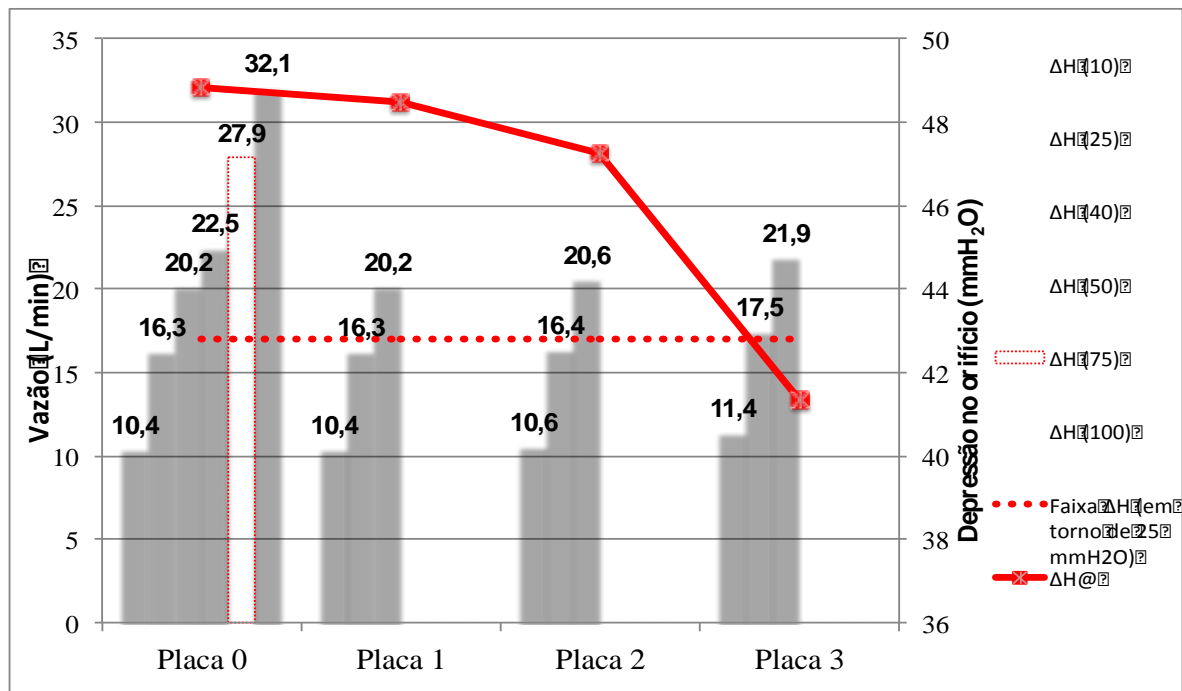
Nas Figuras 1 e 2 a correlação entre os parâmetros da Placa 0 não foi a mesma em relação às demais, provavelmente por erro sistemático do observador, considerando que o ΔH foi resultado das leituras obtidas nos momentos em que se monitorou as faixas de pressão diferencial na placa (ΔH em mmH₂O) durante a calibração, assunto do próximo tópico desta seção.

4.2 Calibração das placas e gasômetro seco

Na calibração da placa pré-existente (original) e do gasômetro seco nas 06 (seis) faixas de pressão na linha de corrente (ΔH de 10, 25, 40, 50, 75 e 100 mmH₂O) com o uso do 'wet test', foram observadas as medições e comportamentos diferentes, por ventura despertasse atenção, bem como temperaturas na entrada e saída do gasômetro, pressão atmosférica, tomadas de pressão da bomba e pressão diferencial. Estes dados foram considerados no preenchimento do formulário de ensaio, conforme Anexo A para os cálculos de vazão e análises dos desvios. Comparativamente, as mesmas faixas de pressão diferencial em cada placa, favoreceram ao tipo de resposta medida em L/min, em um mesmo patamar. A figura 3 ilustra esta discussão, com destaque para os resultados para cada placa de orifício nas respectivas faixas de ΔH (em mmH₂O) testadas.



Figura 3 – Capacidade de cada orifício obtida na calibração do gasômetro



Na Figura sugere-se que uma alternativa para menor esforço do gasômetro seria planejar sua calibração para uma média de vazão em torno de 17,0 L/min, o que poderia ser adequado em amostragens mais comuns de material particulado e alguns outros poluentes cuja metodologia demandam como critério de planejamento, vazão mínima ou tempo mínimo de coleta por amostra. Esta discussão pode ser reforçada se for utilizado número maior de amostras no experimento, já que em um intervalo de ΔH avaliado e indicado pelo coeficiente crítico das pressões (P_2/P_1), as vazões se apresentam sem desvios significativos. Conforme Dias (2006), tal fato sugere que qualquer uma das placas serviria de referência para o funcionamento do gasômetro, a despeito de valores normalmente praticados serem da ordem de $46,7 \pm 6,4$ mmH₂O.

Todas as placas, mesmo calibradas em apenas 3 faixas de pressão diferencial contaram com laudo. Como formalização de calibração, segue como exemplo no Anexo A o Relatório de Ensaio da Placa 0 (original).



5. Conclusões

Os estudos da vazão constituem comparar as médias de vazão teórica (prevista) com aquelas efetivamente medidas nos orifícios, considerando os volumes passados pelo gasômetro seco e úmido ('*wet test*'). Não foram estudadas as interferências de fatores específicos, tais como incerteza de cálculos sobre as imperfeições físicas e de outras geometrias não listadas nesta pesquisa. Sobre variações de densidade do ar e coeficientes de expansão foram adotados valores de referência da literatura. Não se investigou as prováveis causas de erros maiores, por exemplo, de leituras de diâmetro das Placas 0 e 3. As partes 1 e 2 da *AGA Report N3* formam uma excelente base de pesquisa para novos estudos, pois estas são revisadas frequentemente, mais que as normas ISO que tratam do mesmo assunto. Mesmo nas partes de catálogo que retratam diâmetros internos de orifício menores que 6,35 mm ainda faltam estudos mais aprofundados. Para a avaliação da condição de uso e vida útil do gasômetro não foram considerados aspectos de qualidade de sua construção, pois foram considerados inclusos nos cálculos de incerteza da calibração. Contudo, diante do quadro de resultados e em linha com o melhor fator de correção (F_{cm}) e média baixa de vazão (L/min), o orifício de melhor desempenho foi o da Placa 1.

Para um ganho de sobrevida do gasômetro, considerando a não ocorrência de falha em sua fabricação, a não apresentação de erros sistemáticos ou desvio não sinalizado em calibração cuja prerrogativa seja a utilização de faixas de ΔH maiores que 40 mmH₂O e que, também, a placa de orifício fabricada escolhida apresente menor perda de carga possível respeitando as tolerâncias de β (razão entre os diâmetros internos do orifício e da placa instalada), espera-se com base na amostra avaliada um melhor enquadramento do F_{cm} . Assim, a vida útil do gasômetro poderá ser preservada ou ampliada com a manutenção do fator Y (ou F_{cm}), com menor incerteza. Sugere-se como pesquisa futura, para verificação mais aprofundada da sobrevida do gasômetro, incluindo estudos com o cruzamento das amostras com outros gasômetros, a verificação também do seu comportamento em campo durante sua efetiva utilização, quantificando a manutenção de itens que fazem parte do trem de amostragem.



REFERÊNCIAS

AMERICAN GAS ASSOCIATION. AGA Report No. 3, API 14.3, GPA 8185-90, “**Orifice Metering of Natural Gas and Other Related Hydrocarbons Fluids – Part 1: General Equation and Uncertainty Guidelines**”. USA, Third Edition, October, 1990.

AMERICAN GAS ASSOCIATION. AGA Report No. 3, API 14.3, “**Manual of Annual of Petroleum Measurement Standards Chapter 14 – Natural Gas Fluids Measurement Section 3 – Concentric, Square – Edged Orifice Meters Specification and Installation Requirements – Part 2**”. USA, Fifth edition, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO 5167-1: Medição de vazão de fluidos por meio de instrumentos de pressão – Parte 1: Placas de orifício, bocais e tubos de Venturi instalados em seção transversal circular de condutos forçados**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12020: Efluentes gasosos em dutos e chaminés de fontes estacionárias - Calibração dos equipamentos utilizados em amostragem**. Rio de Janeiro: ABNT, 1996.

DIAS, Jose Walderley Coelho. **Calibração de gasômetro por meio de orifícios críticos – Manual de operação**. 9p. Rio de Janeiro: Energética Qualidade do ar, 2006. Disponível em: <http://www.energetica.ind.br/intranet/uploads/_?.pdf>. Acesso em: 12 set. 2015.

DIAS, Jose Walderley Coelho. **CIPA – Coletor Isocinético de Poluentes Atmosféricos; Manual de operação**. 46p. Rio de Janeiro: Energética Qualidade do ar, 2013. Disponível em: <<http://www.energetica.ind.br/produto/cipa-m5/>>. Acesso em: 01 abr. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA. INMETRO. **A Metrologia Legal no Brasil**. Disponível em: <<http://inmetro.gov.br/metlegal/metBrasil.asp>>. Acesso em: 12 set. 2015.

SENAI/ CST (Companhia Siderúrgica de Tubarão). Apostila: **Instrumentação Básica II - Vazão, Temperatura e Analítica – Instrumentação**. 242 p. Vitória, ES: 1999. Disponível em: <http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5817066/157/Instrumentacaobasica2_pdf.pdf>. Acesso em 25 out. 2015.

YOUNG, D. F.; MUNSON, B. R.; OKIISHI, T. H.; ZERBINI, E. De J. (trad.) **Fundamentos da Mecânica dos Fluidos**. 4a. ed. São Paulo: Blücher, 2004.



CONGRESSO NACIONAL DE
EXCELÊNCIA EM GESTÃO

ISSN 1984-9354



XII CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO
& III INOVARSE – RESPONSABILIDADE SOCIAL APLICADA.

29 e 30 de setembro de 2016.

APÊNDICE A – Especificação de Formatos, Critérios Para Instalação e Operação de Placas de Orifício



**ESPECIFICAÇÃO DE FORMATOS, CRITÉRIOS PARA INSTALAÇÃO
E OPERAÇÃO DE PLACAS DE ORIFÍCIO**

Crítérios previstos e utilizáveis nos testes, seguindo a norma NBR ISO 5167-1 (1994), catálogo da AGA, Report N.3, Parte 2 (2013), para o teste neste formulário, limitando-se a escoamentos de fluxo de regime permanente ou com variação lenta com o tempo.

Tipos de materiais e equipamentos utilizáveis nas preparações e nos testes de bancadas

torno mecânico, brocas de aço rápido tipo HSS de 4,90 mm, HT HSS de 4,80 mm e IZAR 4,80 mm, barômetro, termômetro, cronômetro, placas de orifício, caixa medidora (unidade CIPA) com gasômetro, bomba de vácuo, calculadora científica, paquímetro, câmera fotográfica, lupa, termohigrômetro, teflon, chaves de boca, alicate de pressão e chave de fenda.

1. Recursos deste memorial: Informações necessárias para cálculo de vazão e incerteza associada a este cálculo.

Aplicável a fluido considerado apenas de uma fase. Preparativos para inspeção, limpeza ou manutenção são indispensáveis para o sucesso dos ensaios.

2. Itens de observação - "check-list" - registro de atendimento (SIM ou NÃO) - comentários avaliativos

2.1. Aspecto geral de conservação e limpeza do conduto Evidência ou observações

2.1.1. Não evidenciado resíduo de óleo, material abrasivo ou outro

NÃO

Evidenciados sedimentos próprios do uso continuado

2.1.2. Conformidade quanto à direção da instalação do conduto e estado físico de sua conservação, sistema de fechamento do flange, em atendimento a norma, permitindo segurança nas medições?

SIM

Conduto horizontal, sem vazamentos e sistema de flange rosqueado

2.1.3. Não evidenciadas rebarbas, carepas, incrustações, imperfeição na superfície de paredes internas do conduto, por exemplo, ranhuras, amassados, obstruções, ramificações ou não conformidade de localização do dispositivo primário de medição em trecho reto, atendendo inclusive a relação entre diâmetros equivalentes a montante e jusante, sendo a tubulação cilíndrica?

SIM

Superfícies das paredes internas estavam lisas, fabricadas de material resistente para o fluxo de gases de poluentes em situação de amostragem de dutos e fontes estacionárias (chaminés) nas especificações prescritas pelas normas ABNT.

2.1.4. A placa de orifício apresenta face de superfície a montante do fluxo limpa e polida.

SIM

Visualmente a olho nú a face A (a montante do fluxo de ar) dispensa polimento mas visualmente com lupa o acabamento poderia ser melhorado. A face B (a jusante) pode se apresentar com qualidade inferior de acabamento se comparado com a face A (a montante do fluxo), por isso não foi considerada como relevante.

2.2. Detalhes de construção e condições para funcionamento, em conformidade

2.2.1. Quanto à direção da instalação do conduto e estado físico de sua conservação, sistema de fechamento do flange, considerada em conformidade com a norma, permitindo segurança nas medições, considerando risco de soldura, instabilidade de leitura ou desgaste de algum componente?

SIM

O sistema de medição apresentava conexões seguras, com as especificações normativas, inclusive com identificações de TAG e código de fabricantes.

2.2.2. Não evidenciada existência de cordões de solda no conduto que interliga o fluxo de ar pelo flange com a placa de orifício?

SIM

As paredes internas e externas foram vistoriadas e fotografadas. Nem mesmo evidenciado cordão de solda paralelo ao eixo da tubulação em todo seu comprimento nos limites do trecho horizontal.

2.2.3. Avaliadas as dimensões do conduto, flange que abriga a placa de orifício, estando estes elementos primários em conformidade com as especificações?

SIM

A direção do conduto que abriga a placa de orifício era horizontal e as dimensões de diâmetro interno e externo, bem como os trechos a montante e a jusante do flange foram analisadas conforme memória de cálculo em anexo a esta lista de verificação.

2.2.4. A geometria do flange estava conforme o tipo de fluxo e faixa de pressão esperada foi avaliada atendendo ao especificado?

SIM

O flange original era do tipo rosqueado, com anel de vedão de borracha, sem pontos externos para manuseio, em seu interior permitindo a instalação de placa de orifício concêntrico.

2.2.5 Foi avaliada e atendida a proporção entre os diâmetros "d" e "D", bem como suas dimensões na placa?

SIM

A dimensão dos diâmetros interno e externo do orifício na placa, além dos detalhes de bordas de canto vivo foram conferidas e considerados satisfatórios.



CONGRESSO NACIONAL DE
EXCELÊNCIA EM GESTÃO

ISSN 1984-9354



XII CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO
& III INOVARSE – RESPONSABILIDADE SOCIAL APLICADA.

29 e 30 de setembro de 2016.

**ANEXO A – Calibração de Orifícios e Gasômetro: Relatório de Ensaio
(Placa original – PLO-007-163/06)**



AMBTECH SERVIÇOS ESPECIAIS LTDA
Tecnologia, Metrologia e Meio Ambiente



RELATÓRIO DE ENSAIO

Nº 0900A16

Pág. 1/1

Dados do cliente

Nome / Razão Social: Valter Gonçalves
Endereço: _____
Serviço solicitado: Ensaio de calibração de gasômetro seco e placa de orifício

Ensaio 1
Placa original
Ensaio completo

Descrição do equipamento / componentes ensaiados

CIPA		Gasômetro LAO G1,5	Placa de Orifício
Código	0209	Código	0209
Bomba de Vácuo	0209	Nº de série	C11L0010181D
			Código PLO-007-163/06

Padrão de referência e método empregado

Padrão	Código	Calibrado em	Válido até	Certificado nº	Rastreabilidade
Wet Test Meter	AT-GU01	fev-14	fev-17	136.430-101	RBC - CAL 162

Metodologia: NBR 12020 - Item 5.1 Instrução de Trabalho IT -03 Rev. 03

Informações complementares

Data de realização do ensaio: 12/02/16 OS nº: 027716
Temperatura e Umidade Relativa, médias, durante o ensaio: 29,5 °C a 56 %UR
Pressão atmosférica local: 915 mbar

Resultados obtidos

Pressão dif. na placa de orifício (ΔH) (mm H ₂ O)	Fator de Correção Gasômetro seco (FCM)	Desvio Aceitável (%)	Incerteza do FCM	$\Delta H @ i$ (mmH ₂ O)	Desvio Aceitável (mmH ₂ O)	Incerteza do $\Delta H @ i$	Faixa de vazão (L/min)
		< 2	(+)		< 3,9	(+)	
10	1,0269	0,9	0,0110	47,37	2,0	1,09	10,4
25	1,0324	0,4	0,0111	48,58	0,8	1,09	16,3
40	1,0380	0,1	0,0112	50,59	1,2	1,14	20,2
50	1,0405	0,4	0,0112	50,74	1,4	1,14	22,5
75	1,0459	0,9	0,0112	49,52	0,2	1,11	27,9
100	1,0459	0,9	0,0112	50,01	0,7	1,12	32,1

Resultados médios obtidos

FCM médio 1,0382

$\Delta H @ i$ médio 49,47

A incerteza expandida (U) é estimada para um nível de confiança de 95% e fator de abrangência K = 2.

Aprovação do CIPA segundo a NBR 12020 de abril/1992:

Gasômetro seco em conformidade? SIM

Placa de orifício em conformidade? SIM

Ação Não
Feito ajuste ou reparo? X

Sim
RAE nº: _____

Volume registrado após ensaio 1284,240 m³

Belo Horizonte - 12 fevereiro, 2016

Paulo Lucas Costa
Gerente Técnico



Este relatório atende aos requisitos de acreditação da Cgcre, que avaliou a competência do laboratório Ambtech

Os resultados apresentados neste documento têm significação restrita e se aplicam somente ao equipamento em questão.

A reprodução deste documento para outros fins só poderá ser feita integralmente, sem nenhuma alteração ou rasura.

Rua Maria José de Jesus, 201 Camargos CEP 30.520-550 B. Hte./MG Tel.: 31-3288.3693 atendimento@ambtech.com.br